Journal of Agricultural Economics and Development

Homepage: https://jead.um.ac.ir

Full Research Paper
Vol. 36, No. 1, Spring 2022, p. 17-35

Application of Integrated Hydro-economic Optimization Model for Water Resources Management of Qarehsou River Basin to Wetland Protection and Food Security

F. Mazraeh[1], H. Amirnejad[2]*, A. Nikouei[3]

Received: 29-05-2021 Revised: 12-11-2021 Accepted: 15-01-2022 Available Online: 20-06-2022	**How to cite this article:** Mazraeh F., Amirnejad H., and Nikouei A. 2022. Application of Integrated Hydro-economic Optimization Model for Water Resources Management of Qarehsou River Basin to Wetland Protection and Food Security. Journal of Agricultural Economics & Development 36(1): 17-35. (In Persian with English abstract) **DOI:** 10.22067/JEAD.2022.70539.1049

Introduction

In recent years, climate change and global warming, by reducing rainfall and higher temperature, have increased the frequency and severity of drought and water scarcity in various parts of the world, including Iran. The study of the annual discharge of rivers located in Qarehsou basin (Golestan province) showed that this basin has also faced drought in recent years and since most of the water required of Miankaleh wetland is supplied from Qarehsou River, so Water abstraction for agricultural, urban and industrial uses will have a major impact on the ecosystem of Miankaleh wetland. Given that agriculture is the main economic activity in the Golestan province and also it is the largest consumer of water and food security providers in the region Therefore, reducing irrigation water consumption can provide the extra water needed to protect the wetland. In order to sustainable supply water required of Miankaleh wetland in Gorgan Gulf, and preventing to dry the wetland, and using area's capacity in food security, attending to water resources management is very important in *Qarehsou river Basin* and Gorgan Gulf (*Miankaleh wetland*).

Materials and Methods

In this paper, a hydro-economic river basin model was used to water optimal allocation *of Qarehsou River* among water users in the basin (including irrigation activities, urban, industrial, and fishery uses, and environment) and protecting the Miankaleh wetland ecosystem (*Gorgan Gulf*). The empirical river basin model includes three reduce forms of hydrological components, regional optimization components, and environmental components and can make the integrated linkage between hydrologic, economic, institutional, and environmental components. This model also simulates demand nodes' behavior under different drought scenarios. The linkage between the three model components allows a rigorous evaluation of the quantitative impacts of drought on water availability in the river basin under study, the effects on the users' behaviors, and the private and social-economic benefits and costs of water use. The hydrological model of the river basin is based on the principles of water mass balance, which determine the volume of water availability in the different river reaches. This water available can be used for economic activities after taking into account the environmental restrictions for economic activities. In the economic component, the economic benefits of water demand are maximized by using water demand functions subject to technical and resource constraints. In the environmental component, we maximize the benefits that environmental characteristics provide for society and compare them with the benefits of other applications.

1 and 2- Ph.D. Student in Agricultural Economics and Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: h.amirnejad@sanru.ac.ir)
3- Assistant Professor; Economic, Social and Extension Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

Results and Discussion

The results showed, in the current condition, the allocation and consumption of water have not been optimal between nodes in the *Qarehsou river basin*. In the normal water supply scenario, also total water sources decreased to protect *Miankaleh wetland* in suitable condition, but the area under cultivation of the most crops increases, which increases water resources consumption in this sector, and finally, the net benefits of the agriculture sector has grown positively. Also, by allocating 18 million cubic meters of water to the wetland, because of optimal water allocation, urban water consumption, and annual gross benefit increase, too. In drought conditions, because of water shortage due to climate change and reduction headwater and surface flows to preserve the wetland, water consumption reduced by all nodes, especially irrigation node. Agricultures can prevent from reducing excessive of their income by changing in cultivation pattern, deficit planting crops with less water, etc. Under drought conditions and water scarcity, although the amount of water available is reduced to all applicant nodes compared to baseline conditions, but it improves the economic benefits of stakeholders, especially the environment sector.

Increasing groundwater extraction and decreasing surface water (due to drought and wetland water supply from headwater flow), although Qarehsou river basin has faced water scarcity problem, due to the optimal distribution of water between water demand nodes based on the economic-hydrological model used by changing the cultivation pattern and the use of drought-tolerant crops, the amount of water entering the *Miankaleh* wetland has increased in normal and drought scenarios and as a result has increased the gross environmental benefits of *Qarehsou* basin. Therefore, it is recommended to protect the Miankaleh wetland and increase its ecological function, reduce the water allocated value to irrigation sector, and to increase the farmers economy efficiency, optimal cultivation pattern, and applying deficit irrigation strategies promote by agricultural jihad experts in province, and in drought conditions is used suitable strategies for drought to improve water resources management.

Keywords: Hydrological-economic optimization model, Water scarcity, Wetland

Journal of Agricultural Economics and Development
https://jead.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۳۵-۱۷

کاربرد الگوی بهینه‌سازی یکپارچه اقتصادی- هیدرولوژیکی در مدیریت منابع آب حوضه آبریز قره‌سو با هدف حفظ تالاب و امنیت غذائی

فاطمه مزرعه[۱]- حمید امیرنژاد[۲*]- علیرضا نیکوئی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵

چکیده

در سال‌های اخیر مسأله تغییر اقلیم و گرمایش جهانی از طریق کاهش میزان بارش منجر به افزایش فراوانی و شدت خشکسالی و کمیابی آب در مناطق مختلف جهان ازجمله ایران شده است. بررسی میزان آبدهی سالانه رودخانه‌های واقع در حوضه آبریز قرسو (استان گلستان) نشان داد این حوضه نیز در سال‌های اخیر با پدیده خشکسالی مواجه بوده و ازآنجاکه بخش اعظم آب مورد نیاز تالاب میانکاله از رودخانه قره‌سو تأمین می‌شود برداشت آب برای مصارف زراعی، خانگی و صنعتی تأثیر عمده‌ای بر اکوسیستم تالاب میانکاله خواهد داشت. با توجه به اینکه کشاورزی عمده‌ترین فعالیت اقتصادی استان و بزرگترین مصرف‌کننده آب و نیز، تأمین‌کننده امنیت غذائی در منطقه است، لذا کاهش مصرف آب آبیاری می‌تواند آب اضافی مورد نیاز برای حفاظت تالاب را فراهم کند. در این مطالعه برای تأمین آب موردنیاز تالاب میانکاله در مجاورت حوضه آبریز قره‌سو در سناریوهای نرمال و خشکسالی و کمبود آب نسبت به شرایط پایه از یک الگوی بهینه‌سازی اقتصادی- هیدرولوژیکی توسعه‌یافته برای مدیریت منابع آب در حوضه آبریز برقرارکننده پیوندی یکپارچه بین اجزای هیدرولوژیکی، اقتصادی، محیط‌زیستی و نهادی استفاده شد. نتایج مطالعه نشان داد که با توزیع بهینه آب در شرایط نرمال سطح زیر کشت کلیه محصولات زراعی یک درصد افزایش و منافع کل منطقه ۳ درصد افزایش یافته و حداقل آب موردنیاز تالاب نیز تأمین شد. همچنین نتایج نشان داد که در شرایط خشکسالی و کمبود آب اگرچه مقدار آب در دسترس همه گروه‌های تقاضاکننده نسبت به شرایط پایه کاهش یافته، اما از نظر اقتصادی سبب بهبود منافع ذی‌نفعان به‌خصوص محیط‌زیست شد. همچنین، علی‌رغم کاهش سطح زیر کشت کلیه محصولات، حداقل مقدار آب برای حفظ تالاب میانکاله تأمین شد. لذا، توصیه می‌شود به‌منظور افزایش کارایی اقتصادی کشاورزان، ترویج الگوی کشت بهینه و کاربرد استراتژی‌های کم‌آبیاری محصولات توسط مسئولین سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان مورد توجه قرار گرفته و در شرایط خشکسالی از راهبردهای مناسب با خشکسالی جهت بهبود مدیریت منابع آب استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: الگوی بهینه‌سازی هیدرولوژیکی اقتصادی، امنیت غذایی، حوضه آبریز قره‌سو، تالاب میانکاله، کم‌آبی

مقدمه

تالاب‌ها منابع مهم محیط‌زیستی هستند که خدمات سودمندی برای مردم، آبزیان و حیوانات وحشی ارائه می‌دهند. برخی از این کارکردها شامل حفاظت و بهبود کیفیت آب، تأمین زیستگاه برای آبزیان و حیوانات وحشی، ذخیره سیلاب و حفظ جریان آب سطحی در دوره خشکسالی است (Taghavi *et al*., 2014). این خدمات معمولاً دارای قیمت بازاری پایین و یا صفر می‌باشند (Brouwer and Hofkes, 2008). در بعضی موارد تالاب‌ها خدماتی برای برخی کاربران فراهم می‌کنند که دارای تمایل به پرداختی بیشتر از هزینه فرصت آب استفاده شده برای محصولات کشاورزی هستند (Sepaskhah *et al*., 2006; Do *et al*., 2020). پایین بودن قیمت بازاری تالاب‌ها باعث می‌شود تا میزان خسارت وارده به آنها زمانی که

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی و استاد، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: h.amirnejad@sanru.ac.ir)
۳- استادیار، بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
DOI: 10.22067/JEAD.2022.70539.1049

مصرف آب آبیاری به دلیل برخی تصمیمات سیاستی افزایش می یابد، کمتر از میزان واقعی آن برآورد شود (Mainuddin, 2007; Do et al., 2020). بااین‌وجود، بازاری برای خدمات اکوسیستم‌های وابسته به آب وجود ندارد و ارزش اجتماعی آنها در تصمیمات تخصیص آب نادیده گرفته می‌شود (Finlayson and Spiers, 1999). عوامل مختلفی همچون احیای اراضی، بهره برداری شدید از منابع، تغییر هیدرولوژی و آلودگی، تالاب‌ها را در تمام قاره‌ها تهدید می‌کند (WFP, 2016). همچنین، تغییر اقلیم بواسطه تغییرات هیدرولوژی، افزایش دما و نیز افزایش سطح دریا فشار اضافی بر تالاب‌ها وارد کرده (Ward *et al.*, 2006) و با تغییر در الگوهای بارش و تبخیر و تعرق، تالاب ها را با پدیده سیل و خشکسالی‌های مکرر و شدید مواجه خواهد کرد (Mirchi *et al.*, 2018).

بخش کشاورزی با برداشت بیش از ۷۰ درصد از آب های شیرین بزرگترین مصرف‌کننده آب در جهان است (Galbraith *et al.*, 2005). کشورهای درحال‌توسعه علی‌رغم داشتن منابع کمیاب آب با تقاضای نسبتاً بیشتری برای کشاورزی مواجه هستند، لذا میزان برداشت آب برای آبیاری در این کشورها بیشتر بوده که می‌تواند اثرات شدیدتری بر تالاب‌ها داشته باشد (Alcamo *et al.*, 2000; Galbraith *et al.*, 2005; Vörösmarty *et al.*, 2010). توسعه اراضی کشاورزی و مسکونی در اطراف تالاب‌ها، احداث سد در بالادست و حفر چاه های عمیق جهت تأمین آب مورد نیاز بخش کشاورزی ازیک‌طرف مانع رسیدن آب به تالاب‌ها شده (Ahmady and Asghari, 2013) و از سوی دیگر با ورود بی‌رویه سموم و کودهای شیمیایی، موجب آلودگی اکوسیستم تالاب می‌شود (Esavi and Rezaei, 2014). بااین‌وجود، این بخش به طرح‌های امنیت غذایی در بسیاری از کشورها کمک می‌کند (FAO, 2006). اما تغییر اقلیم و خشکسالی های پی‌درپی و نیز افزایش مصارف شهری و صنعتی، توانایی آن را در دستیابی به امنیت غذایی را زیر سؤال برده است (Kafi and Jami Alahmadi, 2020; Fanat, 2003) و بنابراین، امنیت غذایی جوامع به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌طور مستقیم تحت تأثیر محدودیت منابع آبی است (IWMI, 2011). همچنین مطالعات مختلف نشان دادند که تغییرات آب و هوایی از طریق تأثیر بر عملکرد محصولات کشاورزی، بر امنیت غذایی تأثیر گذاشته و با کاهش بهره وری این بخش سبب رشد تولیدات کشاورزی با نرخی کمتر از جمعیت جهانی شده است (WFP, 2016; Esmaelnejad *et al.*, 2018).

تقاضای اجتماعی نوظهور برای حفاظت از محیط‌زیست در قالب تأمین حداقل جریان پایدار برای اکوسیستم‌های وابسته به آب، رقابت برای آب کمیاب در مناطق خشک و نیمه خشک را افزایش می‌دهد. لذا لازم است سیاست‌گذاران به‌منظور حفظ تالاب‌ها در مقابل تقاضای آب آبیاری، از ابزارهای برآورد ارزش اقتصادی استفاده کنند (Ringler and Cai, 2006; Qureshi *et al.*, 2010). در این راستا، بررسی اثرات محیط زیستی شیوه‌های مدیریت و تعاملات بین برداشت از رودخانه برای کشاورزی و تأمین حداقل آب مورد نیاز تالاب ها، ضروری است (Kingsford, 2000). مطالعات اخیر نشان داد که استفاده از الگوهای تجزیه‌وتحلیل هیدرولوژیکی – اقتصادی در مقیاس حوضه رودخانه می تواند اثربخشی نوآوری های مدیریت منابع آب را برای حفظ تالاب‌ها به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش دهد (Nikouei *et al.*, 2012). در سال‌های اخیر مطالعات متعددی با استفاده ازاین گونه الگوها به بررسی سیاست‌ها و استراتژی‌های موجود در مصرف آب پرداختند که از آن جمله می‌توان به مطالعه نیک مهر و زیبایی (Nikmehr and Zibaei, 2020) و اکتر و همکاران (Akter *et al.*, 2020) اشاره کرد. آنها در مطالعه خود با استفاده از مدل هیدرولوژیکی – اقتصادی به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی زیر حوضه کرخه جنوبی پرداختند. نتایج نشان داد با وقوع تغییر اقلیم آب در دسترس و قابلیت اطمینان عرضه آب در نواحی کشاورزی به میزان چشم‌گیری کاهش یافته اما اثر آن در مناطق مختلف متفاوت بوده است. همچنین نتایج نشان داد تغییر اقلیم از طریق افزایش نیاز آبی محصولات کشاورزی در کنار کاهش آب در دسترس موجب کاهش عملکرد محصولات کشاورزی در حوضه مورد مطالعه شده است. نتایج اعمال راهبرد تطبیقی بهبود راندمان آبیاری نشان داد به‌کارگیری این سناریو سبب کاهش اثر تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات مختلف خواهد شد. کلبعلی و همکاران (Kalbali *et al.*, 2021) به بررسی اثرات تغییر اقلیم در حوضه آبریز قره‌سو با استفاده از مدل هیدرولوژیکی – اقتصادی پرداختند. نتایج نشان داد با کاهش آب اختصاص یافته به بخش کشاورزی درنتیجه افزایش دما و کاهش بارندگی ناشی از تغییر اقلیم سطح زیر کشت محصولات کشاورزی و بازده ناخالص کاهش می‌یابد. به‌منظور کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم از سناریوی افزایش راندمان آبیاری و تغییر الگوی کشت استفاده شد. نتایج نشان داد اعمال این سناریو سبب بهبود درآمد ناخالص بخش کشاورزی در منطقه مورد مطالعه شده است. میرچی و همکاران (Mirch *et al.*, 2018) با استفاده از مدل بهینه‌سازی هیدرولوژیکی اقتصادی به بررسی مبادلات مدیریت منابع آب فلوریدای جنوبی در سناریوهای مختلف اقلیمی بین بخش‌های کشاورزی، شهری و محیط‌زیست پرداختند. در این مطالعه توابع جریمه برای گنجاندن ارزش آب در گروه‌های شهری و کشاورزی و همچنین خسارت ناشی از سیل در مدل گنجانده شد. نتایج نشان داد تغییر در الگوهای بارش موجب افزایش تقاضای آب منطقه‌ای شده و در سناریوهای تغییر اقلیم با کاهش بارندگی مبادلات بین بخش‌های شرب، کشاورزی و نیز اکوسیستم برای تأمین آب افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد اگرچه قابلیت تأمین آب شهری در سناریوهای مختلف حفظ شده است اما جریمه‌های جریان به بخش

کشاورزی و محیط‌زیست افزایش یافته است. ازآنجاکه هدف مطالعه حاضر مدیریت منابع آب حوضه آبریز قره‌سو در شرایط مختلف اقلیمی است لذا همچون مطالعات فوق از مدل هیدرولوژیکی اقتصادی برای تخصیص بهینه منابع آب و تأمین امنیت غذایی استفاده شد. همچنین بررسی مطالعات داخلی نشان داد این مطالعات غالباً به مطالعه اثرات اجرای سیاست‌های مختلف جهت توزیع بهینه آب در شرایط مختلف اقلیمی بین دو بخش کشاورزی و محیط‌زیست پرداخته و دیگر بخش‌های اقتصادی (صنعت، شرب و شیلات) یا در مدل لحاظ نشده و یا به‌صورت متغیری برون‌زا در نظر شده است. اگرچه دراین‌بین می‌توان مطالعاتی یافت که با استفاده از مدل یکپارچه اقتصادی هیدرولوژیکی به تخصیص بهینه منابع آب بین کلیه بخش‌های اقتصادی و محیط‌زیست در شرایط خشکسالی پرداخته‌اند اما در این مطالعات بیشتر بعد حفاظت از تالاب مورد توجه بوده (Ringler and Nikouei *et al*., 2012; Cai, 2006) و یا مانند سایر مطالعات حداکثر سازی منافع یک بخش اقتصادی نسبت به سایر بخش‌ها مورد توجه قرار گرفته است (Ringler and Cai, 2006). لذا در این مطالعه تلاش شده است تا با استفاده از الگوی بهینه‌سازی هیدرولوژیکی- اقتصادی یکپارچه حوضه رودخانه، توزیع بهینه آب رودخانه قره‌سو بین بخش‌های مختلف مصرف‌کننده آب با هدف تأمین حداقل آب مورد نیاز برای حفظ تالاب میانکاله در شرایط مختلف اقلیمی و نیز تأمین امنیت غذایی در شرایط کم‌آبیاری مورد بررسی قرار گیرد.

تالاب میانکاله با وسعتی حدود ۴۰۰ کیلومترمربع، حدود ۲۶۰۰ سال پیش در اثر پیشروی و گسترش شرقی تپه های ماسه ای میانکاله در ایران شکل گرفته (Brouwer and Hofkes, 2008) و از نظر هیدرولوژیک تحت تأثیر دریای خزر و حوزه‌های آبخیز بالادست است (USEPA, 2018). این تالاب به‌عنوان اکوسیستمی کم‌نظیر در سطح جهانی با توجه به تنوع اکوسیستمی بالا، منابع بیولوژیکی مختلف، زیستگاه بسیار مناسب و باارزش برای حیوانات کم‌نظیر و گونه‌های مختلف پرندگان مهاجر آبزی است. تالاب میانکاله با تولید ۵۰ درصد خاویار ایران و پرورش ۲۴ گونه آبزی از اهمیت اقتصادی قابل‌توجهی برخوردار است (EPA, 2013). ایجاد محیط مناسب برای پرورش طیور، تعلیف دام، تغذیه انسان، انواع گیاهان دارویی، ایجاد فضای سبز، تهیه حصیر، چوب و سوخت و نیز ایجاد اشتغال برای افراد بومی منطقه از دیگر ارزش‌های اقتصادی تالاب میانکاله محسوب می‌شود (Amirnejad *et al*., 2010). سیستم رودخانه‌ای که تالاب میانکاله را تغذیه می‌کند شامل رودخانه‌های کوچک ساحلی در غرب کردکوی و رودخانه قره‌سو بوده که از بخش شرقی وارد تالاب می‌شود (USEPA, 2018). در سال‌های اخیر به دلیل کاهش سطح آب دریا و مسدود شدن کانال های ارتباطی خلیج گرگان با دریای خزر ناشی از افزایش رژیم رسوب‌گذاری سطح آب خلیج تا ۸۵ سانتیمتر و وسعت آن تا ده هزار هکتار کاهش یافته است (EPA, 2013). از طرف دیگر، استان گلستان که بخش قابل‌توجهی از آن در حوضه‌های آبریز مذکور قرار گرفته است، با مزیت‌های نسبی در زمینه کشاورزی و به خاطر ظرفیت‌ها و قابلیت‌های بسیار زیاد، نقش اساسی را در توسعه کشاورزی و امنیت غذایی کشور به عهده دارد و علی‌رغم محدودیت منابع آب توانسته است برخی رتبه‌ها را در تولید محصولات کشاورزی در کل کشور شامل رتبه اول سویا، رتبه اول خاویار، رتبه سوم گندم، رتبه سوم پنبه، رتبه سوم کلزا، رتبه چهارم برنج، رتبه پنجم زیتون، و رتبه چهارم ماهی گرمابی را کسب نماید (Golestan Provice Governorate, 2018).

با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه اثرات خشکسالی بر فعالیت‌های اقتصادی و بخش محیط‌زیست و نیز با توجه به ارزش اقتصادی و محیط‌زیستی تالاب میانکاله، به‌منظور حفظ و تأمین آب مورد نیاز تالاب میانکاله در خلیج گرگان و جلوگیری از خشک شدن آن و همچنین استفاده از ظرفیت منطقه در راستای امنیت غذائی کشور، توجه به مدیریت منابع آب در حوضه‌های آبریز قره‌سو و خلیج گرگان بسیار حائز اهمیت است. همچنین ازآنجاکه بخش اعظم آب مورد نیاز خلیج گرگان و تالاب میانکاله از طریق حوضه آبریز قره‌سو تأمین می‌شود و نیز با توجه به اینکه آب‌بندها به‌عنوان یکی از منابع بالقوه ذخیره آب در این حوضه هستند لذا چگونگی مدیریت منابع آب در حوضه آبریز قره‌سو به‌گونه‌ای که تالاب میانکاله حفظ شود بسیار مهم می‌باشد. با توجه به اینکه مطالعاتی که در منطقه صورت گرفته جامعیتی که مدیریت یکپارچه از طریق مدل هیدرولوژیکی- اقتصادی انجام می‌دهد را ندارد لذا در این مطالعه تلاش شده است تا با استفاده از الگوی بهینه‌سازی هیدرولوژیکی-اقتصادی یکپارچه حوضه رودخانه، توزیع بهینه آب رودخانه قره‌سو بین بخش‌های مختلف مصرف‌کننده آب با هدف تأمین حداقل آب مورد نیاز برای حفظ تالاب میانکاله در شرایط مختلف اقلیمی و نیز تأمین امنیت غذایی در شرایط کم‌آبیاری مورد بررسی قرار گیرد.

روش تحقیق

در این مطالعه به‌منظور تخصیص بهینه آب رودخانه قره‌سو بین کاربران موجود در حوضه (بخش کشاورزی، شرب، صنعت، شیلات و محیط‌زیست) و حفظ اکوسیستم تالاب میانکاله از مدل تجربی حوضه رودخانه استفاده شد (Mirkarimi *et al*, 2019). مدل تجربی حوضه رودخانه از سه مؤلفه فرم کاهشی هیدرولوژیکی[1]، مؤلفه بهینه سازی اقتصادی منطقه‌ای و مؤلفه محیط‌زیستی تشکیل شده و قادر به برقراری پیوندی یکپارچه بین اجزای هیدرولوژیکی، اقتصادی، محیط‌زیستی و نهادی است. همچنین، این مدل یکپارچه رفتار گره‌های تقاضای آب را تحت سناریوهای مختلف خشکی شبیه‌سازی

1- Reduced form Hydrological Component

می‌کند. ارتباط بین سه جزء مدل امکان ارزیابی دقیق اثرات کمّی خشکسالی بر قابلیت دسترسی به آب در حوضه رودخانه تحت مطالعه، و نیز ارزیابی اثرات آن بر رفتار کاربران و منافع اقتصادی، اجتماعی، خصوصی و هزینه‌های مصرف آب را فراهم می‌کند. مدل هیدرولوژیکی حوضه رودخانه مبتنی بر اصل تعادل آب بوده که حجم آب موجود در قسمت‌های مختلف رودخانه را تعیین می‌کند. مقدار آب موجود می‌تواند پس از در نظر گرفتن محدودیت‌های محیط‌زیستی برای فعالیت‌های اقتصادی، استفاده شود. در بخش اقتصادی با استفاده از توابع تقاضای آب و با توجه به محدودیت های فنی و منابع، منافع اقتصادی گروه‌های متقاضی آب حداکثر می‌شود. در جزء محیط زیستی نیز، منافعی را که خصوصیات محیط‌زیستی برای جامعه به ارمغان می‌آورد را حداکثر کرده و آنها را با منافع حاصله از سایر کاربردها مقایسه می‌کند (Kahil *et al*, 2014).

$$Max\ z = \sum_{k}\sum_{t}\frac{NBA_{k,t}^{s,p}}{(1+r_a)^t} + \sum_{u}\sum_{t}\frac{NBU_{u,t}^{s,p}}{(1+r_u)^t} + \sum_{u}\sum_{t}\frac{NBI_{u,t}^{s,p}}{(1+r_i)^t} + \sum_{u}\sum_{t}\frac{NBF_{u,t}^{s,p}}{(1+r_f)^t} + \sum_{u}\sum_{t}\frac{NBE_{e,t}}{(1+r_e)^t}) \quad (۱)$$

بخش اقتصادی مدل

ابتدا با استفاده از مدل تجربی حوضه رودخانه تخصیص آب در شرایط نرمال و خشکسالی بررسی و سپس رفتار کاربران آب در وضعیت‌های مختلف اقلیمی شبیه‌سازی شد. هدف مدل بهینه‌سازی حوضه رودخانه، حداکثر سازی ارزش حال خالص تنزیل‌شده[1] منافع اقتصادی و محیط‌زیستی کل حوضه در طول دوره‌ی ۱۰ ساله با توجه به محدودیت‌های هیدرولوژیکی و اقتصادی است. مسئله بهینه‌سازی برای کل حوضه رودخانه به‌صورت رابطه (۱) است (Nikouei *et al*., 2012):

که در آن Max z حداکثر سازی تابع هدف که همان ارزش حال خالص تنزیل‌شده است، است. NBA، NBU، NBI، NBF و NBE به ترتیب منفعت خالص بخش کشاورزی، شرب، صنعت، شیلات و محیط‌زیست را تحت سناریو عرضه آب (s) و گزینه سیاستی (p) نشان می‌دهد. منفعت خالص از تفاوت هزینه کل از منفعت کل به دست می‌آید. در رابطه (۱)، r بیانگر نرخ تنزیل و اندیس k بیانگر گره مصرف آب آبیاری، u بیانگر گره مصرف غیر آبیاری (شرب، صنعت و شیلات) و e بیانگر گره محیط‌زیستی است. منفعت کل برابر با تمایل به پرداخت خدمات تفرجی و محیط‌زیستی حوضه رودخانه قره‌سو که از مطالعه میرکریمی و همکاران (Mirkarimi *et al*., 2019) استخراج شد و ارزش اقتصادی محصولات و خدمات بخش کشاورزی (رابطه ۲)، شرب، صنعت و شیلات (رابطه ۴) و هزینه کل شامل هزینه‌های انرژی، بهره‌برداری و نگهداری، تصفیه، برداشت و انتقال آب‌های سطحی و زیرزمینی در هر گره مصرف کننده است. منفعت کل کشاورزی برابر با تمایل به پرداخت کشاورزان برای استفاده از آب در بخش کشاورزی است که با استفاده از میزان افزایش درآمد خالص مزرعه ناشی از تغییر در مقدار آب مصرفی اندازه‌گیری می‌شود. رابطه (۲) منافع آب کشاورزی را تحت سناریوی عرضه آب s و گزینه سیاستی p نشان می‌دهد:

$$TB_{agr,t}^{s,p} = (p_j * Y_{apply_{agr},c,k}^{s} - AC_{apply_{agr},c,k}) * L_{apply_{agr},c,k,t}^{s,p} \quad (۲)$$

در این رابطه $apply_{agr}$ مشخص‌کننده گره مصرف آب کشاورزی، p قیمت هر واحد محصول (میلیون ریال بر هر کیلوگرم)، AC هزینه متوسط تولید هر کیلوگرم محصول در هکتار، L^s سطح زیر کشت هر محصول (هکتار) تحت سناریوی آبیاری s و گزینه سیاستی p و Y^s عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار) در سناریوی آبیاری s است. به‌منظور بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد محصولات کشاورزی معادله ۳ به مدل اضافه شد:

$$Y_{apply_{agr},c,k}^{s} = ((100 - Defyield_{j,s}))/100) * Y_{apply_{agr},c,i} \quad (۳)$$

در این رابطه $Defyield_{j,s}$ درصد کاهش در عملکرد محصولات در سناریوی آبیاری s مستخرج از مطالعه ممن و همکاران (Memon *et al*., 2021)، اودا و همکاران (Ouda *et al*., 2021)، لالیتا و والاکانان (Lalitha and Vallalkannan, 2019)، الشوادفی و همکاران (El-Shawafy *et al*., 2020)، پتن و همکاران (Patane *et al*., 2011)، مولوگتا و کانن (Mulugeta and Kannan, 2015)، ابراهیمی پاک و همکاران (Ebrahimipak *et al*., 2018)، و $Y_{apply_{agr},c,k}$ عملکرد محصولات کشاورزی در سال موردمطالعه (۱۳۹۷) است. بررسی نظرات خبرگان و سابقه کشت محصولات کشاورزی در شرایط مختلف اقلیمی در منطقه نشان داد تحت شرایط کم‌آبی کشاورزان تمایل به حفظ سطح زیر کشت محصولات دارند. لذا این تمایل به حفظ تحت عنوان قید امنیت غذایی به‌صورت رابطه ۴ به معادلات اضافه شد:

$$L_{apply_{agr},c,k,t}^{s,p} = (1 \pm \alpha) * L_{apply_{agr},c,k,t} \quad (۴)$$

در این رابطه L سطح زیر کشت محصولات در شرایط پایه، L^s سطح زیر کشت تحت سناریوی آبیاری s و α درصد تغییر در سطح زیر کشت هر محصول در شرایط کم‌آبیاری و خشکسالی بوده که بر اساس نظر کارشناسان و اطلاعات کشت در منطقه در طی سال‌های مختلف به‌دست‌آمده است.

تمایل به پرداخت مصرف کنندگان شهری بر مبنای منافع اقتصادی حاصل از مصرف آب بوده و بر اساس کشش قیمتی تقاضا در گره‌های مصرف شهری به دست می‌آید (رابطه ۴).

1- Discounted Net Present Value

$$TB^{s,p}_{urb,t} = \beta^{intercept}_{urb} + \beta^{linear}_{urb} X^{s,p}_{apply_{urb},t} + \beta^{quadratic}_{urb} (X^{s,p}_{apply_{urb},t})^2 \quad (۵)$$

در رابطه فوق β ها پارامترها و بالانویس‌های آنها به ترتیب جزء ثابت (intercept)، خطی (linear) و درجه دوم (quadratic) بـرای استفاده آب در هر گره مصرف آب شرب ($apply_{urb}$) در زمـان t را نشـان مـی‌دهـد (Booker *et al.*, 2005; Kahil *et al.*, 2016 ; Nikmehr and Zibaei, 2020).

به‌منظور برآورد ضرایب تابع منافع آب شرب، ابتـدا از رابطـه (۵) مشتق گرفته شد و سپس با توجه به اینکـه منـافع نهـایی حاصـل از مصرف هر واحد آب شهری برابر با هزینه نهایی مصرف است، و نیز کشش قیمتی تقاضا[1] مقدار پارامترهـا محاسـبه گردیـد. تـابع منـافع سالانه آب صنعت و شیلات نیز از رابطه (۵) به دست می‌آیـد امـا بـا توجه به اینکه در صورت عدم مصرف آب در بخش صنعت و شیلات منافع کل حاصل از مصرف برابر صفر خواهد بود لذا در رابطـه فـوق $\beta^{intercept}$ برابر صفر است. منافع محیط‌زیستی نیـز بـا اسـتفاده از تمایـل بـه پرداخـت بازدیدکننـدگان از سـایت‌هـای محـیط‌زیسـتی انـدازه‌گیـری مـی‌شـود (Haab and McConnell, 2003). منـافع خالص محیط‌زیستی حوضه آبریز قره‌سو (منافع حاصـل از آب‌بنـدها، سد و جریان آب رودخانه) از رابطه (۶) به دست می‌آید (Nikouei *et al.*, 2012):

$$NB^{s,p}_{e,t} = TB^{s,p}_{e,t} - TC^{s,p}_{e,t} \quad \forall \quad e \ni \ res, riv \quad (۶)$$

در این رابطه $TB^{s,p}_{e,t}$ منافع کل محـیط‌زیسـتی حاصـل از منـابع ذخیره آب (سد و آب‌بند) و محیط‌زیست رودخانه است.

بخش هیدرولوژیکی مدل

مدل هیدرولوژیکی فرم کاهشی حوضه رودخانه مبتنی بـر اصـل تـوازن آب[2] بـرای هـر دو جریـان‌هـای سـالانه و ذخـایر آب اسـت (Taghavi *et al.*, 2014). جریان‌های سالانه عبارت از منابع عرضه هیـدرولوژیکی، ذخـایر آب، روابـط عملکـردی و جغرافیایی جریـان رودخانه و آب برداشت‌شده جهت مصارف مختلف است. جریان‌هـای سطحی منبع عرضه هیدرولوژیکی بوده هرچند خود متـأثر از میـزان بارندگی خواهند بود. کل جریان ورودی به گـره‌هـا از رابطـه (۶) بـه دست می‌آید:

$$X^{s}_{inflow,t} = \rho^{s} Source_{inflow,t} \quad (۷)$$

در این رابطه inflow گره‌های عرضه آب، ρ^{s} درصد تـأمین آب در سناریوی s، source حجم آب عرضه‌شـده توسـط منـابع عرضـه (میلیون متر کعب) و X کل جریان ورودی به گره‌ها است.

به‌منظور تعیین روابط جغرافیایی بین گره‌های مختلف موجـود در حوضه نقشه شماتیک بین آنها با توجه به سامانه اطلاعات جغرافیایی حوضه آبریز قره‌سو و اطلاعات به‌دست‌آمده از شرکت آب منطقـه‌ای گلستان ترسیم شد (شکل ۱). با استفاده از ایـن نقشـه و بـر اسـاس اصل توازن آب ارتباط جغرافیایی بـین گـره‌هـای موجـود در حوضـه مشخص شد. میـزان برداشـت از آب‌هـای سـطحی و زیرزمینـی بـا استفاده از رابطه (۸) نشـان داده شـد. در ایـن رابطـه apply بیـانگر برداشت بوده کـه مقـداری از آن مـورد مصـرف (use) قـرار گرفتـه، بخشـی نفـوذ (seepage) و بخشـی دیگـر بـه‌صـورت جریـان‌هـای بازگشتی (return) به رودخانه بازگشت مـی‌کنـد. در ایـن روابـط Δ ماتریسی است که دارای مقادیر واحد بوده و گره‌های مشـخص‌شـده به‌صورت زیرنویس را به هم متصل می‌کند.

$$X^{s,p}_{apply,t} = \sum_{divert} \Delta_{divert,apply} X^{s,p}_{divert,t} + \sum_{divert} \Delta_{pump,apply} X^{s,p}_{pump,t} \quad (۸)$$

$$\forall \ apply \ni apply_{agr}, apply_{urb}, apply_{ind}, apply_{fsh}$$
$$\forall \ divert \ni divert_{agr}, divert_{urb}, divert_{ind}, divert_{fsh}$$

در حوضه آبریز قره‌سو علاوه بر سفره‌های آب زیرزمینی به‌عنوان منبـع طبیعـی ذخیـره آب، سـد نومـل و آب‌بنـدهای موجـود در شهرستان‌ها نیز به‌عنوان منبع بالقوه ذخیره آب محسـوب مـی‌شـوند. ذخیره سالانه منبع (z) با استفاده از رابطه (۹) تعیین می‌شود، کـه در این رابطه $z_{res,t}$ ذخیره سالانه سد یا آب‌بند، $z_{res,t-1}$ ذخیره سال قبـل منبع و evp میزان تبخیر از منبع و rel خـالص ورودی و خروجـی از منبع را نشان می‌دهد:

$$Z^{s,p}_{res,t} = Z^{s,p}_{res,t-1} - \sum_{rel} \Delta_{res,rel} X^{s,p}_{rel,t} - \sum_{evp} \Delta_{res,evp} X^{s,p}_{evp,t} \quad (۹)$$

به‌منظور جلوگیری از تجاوز مقدار آب موجود در سد و آب‌بندها از ظرفیت واقعی آنها دو محدودیت حداکثر و حداقل مقدار بـرای منـابع در نظر گرفته شد (Ward *et al.*, 2006). با توجه بـه اصـل تـوازن آب، معادله توازن آب برای منابع زیرزمینی نیز با استفاده از رابطـه ۹ به‌دست آمد (Ward *et al.*, 2006):

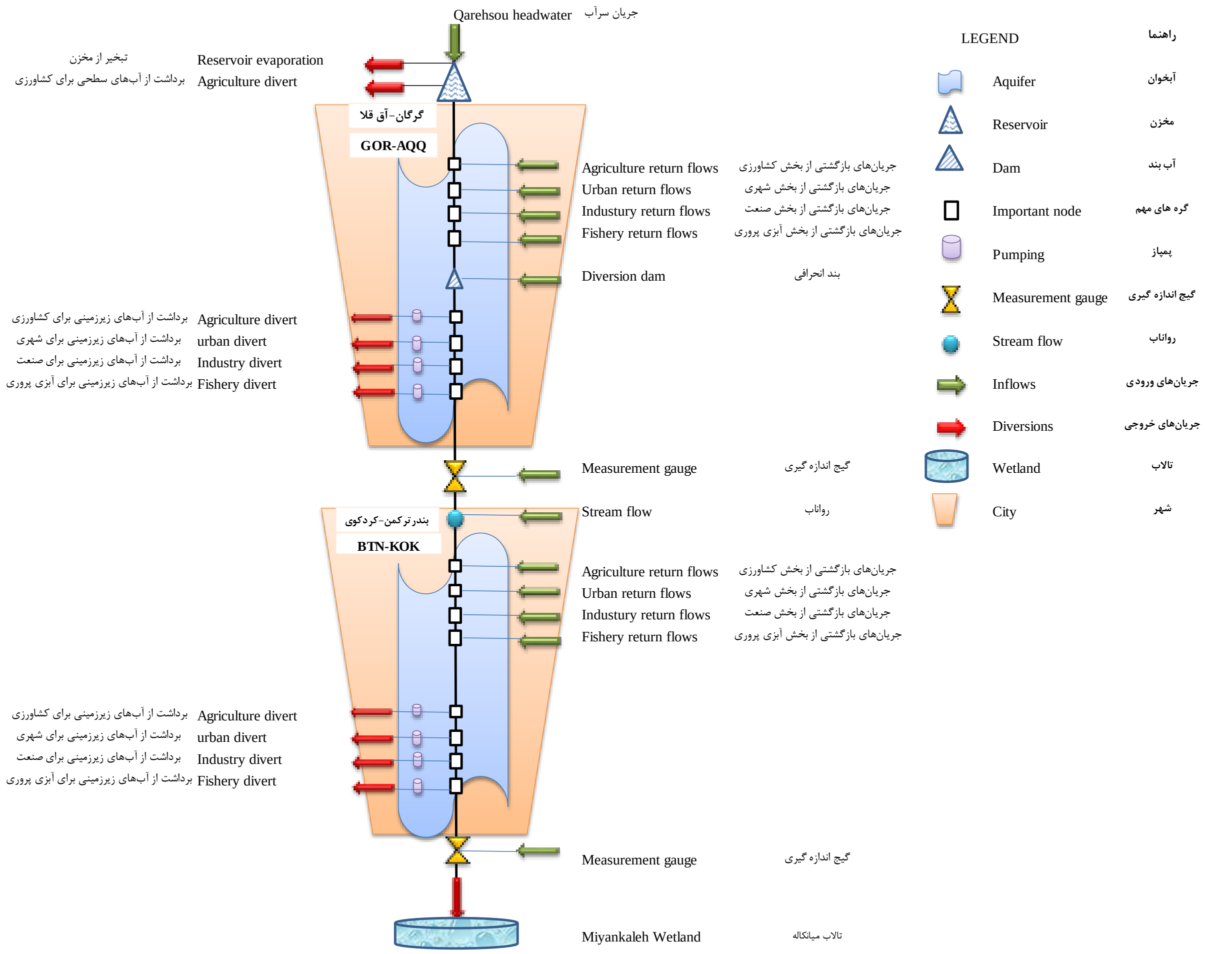
$$Z^{s,p}_{gwf,t} = Z^{s,p}_{gw,t-1} - \sum_{adaq} \Delta_{adaq,gwf} X^{s,p}_{adaq,t} \quad (۱۰)$$

در این رابطه، $z_{gwf,t-1}$ وضعیت ذخیره سـفره زیرزمینـی در سـال پایه، $X_{adaq,t}$ تغییر حجم سالانه آب سفره زیرزمینی و $z_{gwf,t}$ وضعیت منبع در سال t است. با توجه به اینکه تقاضای آب کشاورزی متأثر از الگوی استفاده از زمین است، لذا در این مطالعه محدودیت زمین نیـز به معادلات اضافه شد.

---

[1] ۱- کشش قیمتی تقاضا از مطالعه ادیب‌پـور و شیرآشـیانی (Adibpour and Shirashiani, 2014) استخراج شد

[2] 2- Mass Balance



شکل ۱- شبکه گره‌ها و جریان‌های ورودی/خروجی به/ از رودخانه قره‌سو

Figure 1- Nodes network and inflows/ outflows to/ from Qarehsou basin

این محدودیت بیان می‌کند کـل سـطح زیـر کشـت محصـولات زراعی و باغی در هر شهرستان (گره) از کل زمین‌های موجـود در هـر گره در هر زمان نمی‌تواند بیشتر باشد.

خشکی یکی از خصوصیات ذاتی کشور ما بوده و بروز خشکسـالی در سال‌های اخیر و به دنبال آن کم‌آبی این مسأله را تشـدید کـرده و بخش کشاورزی را با مشکلات مختلفی مواجه کرده است. با توجه به این مطالب و کمبود آب در کشور، استفاده بهینه از آب در زراعت آبـی امری ضـروری اسـت. کـم‌آبیـاری یـک راهکـار بهینـه بـرای تولیـد محصولات تحت شرایط کمبود آب است. در این روش مدیریت آب با کاهش درصدی از آب توصیه شده و تعیین حد بهینه آن می‌تـوان بـه محصول ایده‌آل دست یافـت (Fardad, 2011; Naderi, 2010). در کم‌آبیاری عمداً به گیاهان اجازه داده مـی‌شـود تولیـد کمتـری داشـته باشند. هدف آبیار افزایش کارایی مصرف آب از طریق کـاهش میـزان آب در هر آبیاری و یا تعداد آبیاری‌هـا اسـت (Smardon, 2009). در این مطالعه کم‌آبیاری در شرایط خشکسالی به‌صورت درصـدی از کـل آب آبیاری برای محصول مورد نظـر در شـرایط نرمـال بـه معـادلات اضافه شده است (رابطه ۱۱).

$$X_{apply_{j,t}} = ((100 - Deff_{j,s}))/100) * X_{apply_{j,t}} \qquad (۱۱)$$

در این رابطه، $X_{apply_{i,j,t}}$ مقدار آب برداشت‌شده توسط محصول j و $Deff_{j,s}$ درصد کاهش آب مصرفی محصول j در شرایط کمبـود آب و در سناریوهای مختلف (s) را نشان می‌دهد.

ازآنجاکـه رودخانـه قـره‌سـو حـدود ۵۲٪ آب ورودی بـه تـالاب میانکاله را تأمین می‌کند (Taghavi *et al.*, 2014) لذا تأثیر بسزایی در اکولوژی گونه‌های گیاهی و جـانوری تـالاب و بـه‌ویـژه در ناحیـه ساحلی اطراف رودخانه دارد. به‌منظور تعیین مقدار جریان محیطزیستی بـه تـالاب از مطالعـه تقـوی و همکـاران (Taghavi *et al.*, 2014) استفاده شد. بر اساس مطالعه مذکور حداقل جریان وردی به تـالاب از رودخانه قره‌سو با هـدف حفـظ تـالاب میانکالـه بـه‌عنـوان زیسـتگاه

پرندگان آبزی و کنار آبزی در محدوده ۱۰ تا ۱۸ میلیون متر مکعب در سال است. با توجه به اطلاعات موجود، در شرایط فعلی (پایه) مقدار جریانات ورودی به تالاب از رودخانه قره سو کمتر از نیاز آبی تالاب بوده و در شرایط نرمال با توزیع بهینه منابع آب حوضه بین بخش‌های اقتصادی میزان آب دریافتی تالاب میانکاله از رودخانه قره‌سو نسبت به شرایط پایه بایستی افزایش یافته، به‌طوری‌که حداقل نیاز تالاب (۱۸ میلیون مترمکعب در سال) را تأمین می‌کند. اگرچه حجم آب ورودی به تالاب در سناریوی خشکسالی کاهش یافته است اما این میزان برابر با حداقل دبی مورد نیاز در شرایط نسبتاً مناسب بوده لذا حفظ محیط‌زیست تالاب مدنظر قرار گرفته است. همچنین با توجه به اینکه هدف مطالعه حاضر حفظ تالاب میانکاله در شرایط خشکسالی است، لذا گزینه سیاستی تأمین نیاز محیط زیستی تالاب در دو حالت نرمال و خشکسالی مورد بررسی قرار گرفت. سیاست حفظ تالاب از کاهش مقدار آب سرمنشأ بر میزان مصرف آب سایر بخش ها تأثیر خواهد گذاشت. رابطه (۱۲) و (۱۳) به‌عنوان یک محدودیت نهادی به الگوی یکپارچه حوضه آبریز قره‌سو به ترتیب برای حفظ تالاب در شرایط خشکسالی و نرمال اضافه شد:

$$\bar{X}^{S(ins)_{lower}}_{divert_{wet},t} = 10 \qquad \forall \ s = Drought \qquad (۱۲)$$

$$\bar{X}^{S(ins)_{lower}}_{divert_{wet},t} = 18 \qquad \forall \ s = Normal \qquad (۱۳)$$

همچنین دو سناریو برای عرضه سر آب رودخانه و آب‌های سطحی به‌صورت یک دوره‌ی ۱۰ ساله به شرح زیر در نظر گرفته شد:

سناریو عرضه آب نرمال: در این سناریو ۱۰۰ درصد حجم سر آب در سال پایه به‌عنوان عرضه آب در نظر گرفته می‌شود.

$$\rho^{s} = \%100 \qquad \forall \ s = Normal \qquad (۱۴)$$

سناریو عرضه آب خشکسالی: در این سناریو ۵۰ درصد میانگین وزنی عرضه آب سال پایه به‌عنوان عرضه اولیه آب در نظر گرفته می‌شود.

$$\rho^{s} = \%50 \qquad \forall \ s = Drought \qquad (۱۵)$$

در این مطالعه اطلاعات مربوط به گره‌های عرضه و تقاضای آب، میزان تبخیر و نفوذ در منطقه از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان، سطح زیر کشت، قیمت و عملکرد محصولات از سازمان جهاد کشاورزی استان و میزان مصرف شهری از اداره آب و فاضلاب استان گلستان جمع‌آوری گردید. سپس الگوریتم‌های لازم برای دستیابی به مدل یکپارچه حوضه رودخانه در بسته نرم افزاری GAMS نوشته (Blaco *et al.*, 2013) و برای هر گزینه سیاستی و هر سناریوی عرضه آب به‌صورت جداگانه اجرا شد.

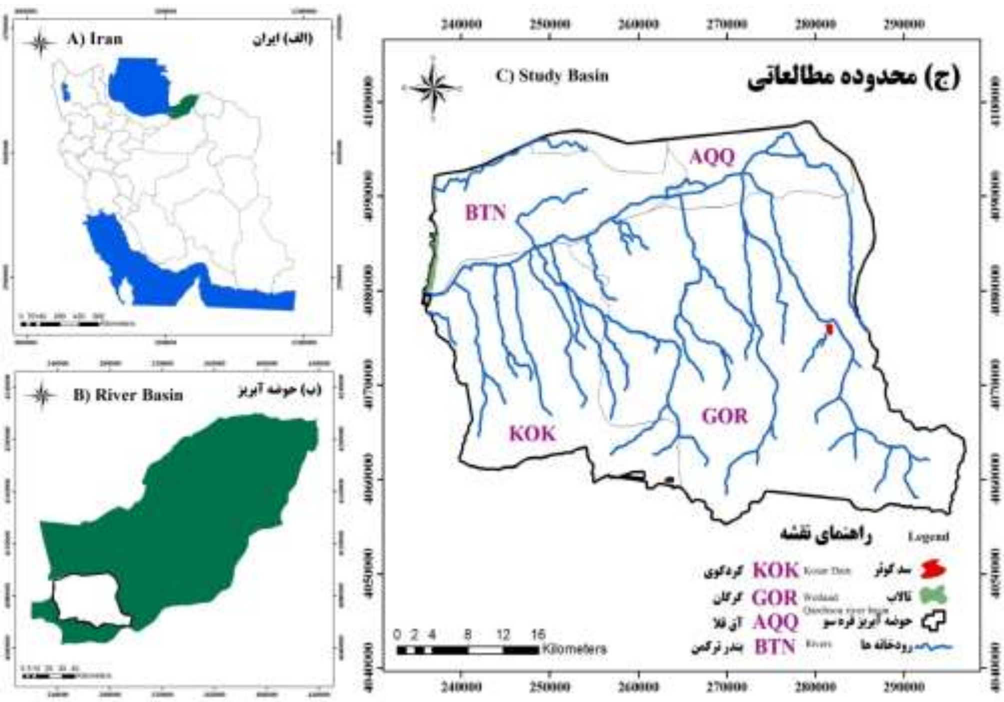
منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز قره‌سو یکی از حوضه‌های واقع‌شده در استان گلستان است که با مساحت حدود ۱۷۶۱۰۰ هکتار حدود ۸ درصد آن را در برمی‌گیرد. رودخانه قره‌سو از الحاق چند رودخانه کوچکتر که مهم‌ترین آنها رودخانه‌های کردکوی، شصت‌کلاته، زیارت و گرمابدشت است تشکیل شده است. این رودخانه‌های کوچکتر پس از الحاق به یکدیگر در مجاورت روستای قره سو به خلیج گرگان) جریان می‌یابد (شکل ۲). سد نومل با گنجایش ۷ میلیون مترمکعب و حجم تنظیمی حدود ۱۵ میلیون مترمکعب در ۱۲ کیلومتری جنوب شرقی گرگان احداث شده است که آبیاری ۴ هزار هکتار از اراضی زیر کشت را به خود اختصاص داده است. بررسی روند جریان رودخانه قره‌سو نشان داد جریان رودخانه قره‌سو از مهرماه روند افزایشی به خود می‌گیرد و در فروردین به بیشترین مقدار خود می‌رسد، سپس آبدهی رودخانه کم می‌شود و در مردادماه به کمترین مقدار خود می‌رسد (Rigenal Water Company of Golestan, 2016) (شکل ۳). بررسی روند میانگین آب ورودی به تالاب میانکاله در خروجی رودخانه قره‌سو نیز بیانگر کاهش جریان آب ورودی به تالاب است (شکل ۴).

پناهگاه حیات‌وحش میانکاله با وسعت ۶۷۰۰۰ هکتار در غرب استان گلستان و شرق استان مازندران واقع شده است. تالاب میانکاله به‌عنوان بخشی از شبه‌جزیره میانکاله است که در منتهی‌الیه جنوب شرقی دریای خزر قرار گرفته است. آب مورد نیاز تالاب میانکاله از منابع گوناگونی همچون نزولات جوی، آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی و نوسانات دریای خزر تأمین می‌شود. همچنین رودخانه قره‌سو (سیاه‌آب) و رودخانه غازمحله در غرب گلستان دو سیستم رودخانه‌ای تغذیه‌کننده تالاب میانکاله می‌باشند (EPA, 2013).

نتایج و بحث

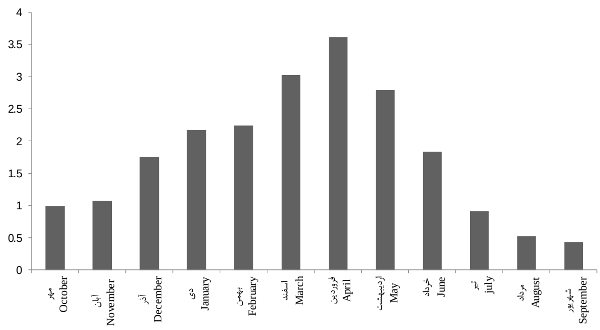
برای تأمین پایدار آب برای حفظ محیط‌زیست تالاب میانکاله با توجه به اینکه مصرف بخش شرب در اولویت اول تخصیص قرار دارد، لذا امکان کاهش آب تحویلی به این بخش وجود ندارد. به همین دلیل سایر بخش‌ها به‌ویژه بخش کشاورزی باید بیشترین مساعدت را در تأمین آب مورد نیاز تالاب متقبل شود. جدول ۱ وضعیت جریان‌های محیط‌زیستی به تالاب در شرایط نرمال و خشکسالی را بر اساس نتایج الگوی اقتصادی–هیدرولوژیکی حوضه آبریز قره‌سو نشان می‌دهد. در سال پایه کل منابع آب حوضه (بدون اعمال هرگونه سناریو عرضه و گزینه سیاستی) معادل ۵۷۳ میلیارد متر مکعب بوده که در سناریو عرضه نرمال آب و با در نظر گرفتن سیاست حفظ تالاب در شرایط مناسب حجم کل جریان در حالت بدون اعمال هر دو سیاست کم‌آبیاری و امنیت غذایی و با اعمال دو سیاست فوق نسبت به حالت پایه افزایش یافته که این امر ناشی از افزایش انتقال آبهای زیرزمینی به رودخانه است. کاهش حجم کل جریان در سناریوی خشکسالی ناشی از اعمال قید کاهش ۵۰ درصدی منابع آب به‌منظور بررسی وضعیت الگوی توزیع و مصرف آب در شرایط خشکسالی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.



شکل ۲- موقعیت حوضه آبریز قره‌سو و تالاب میانکاله در استان گلستان و در کشور
Figure 2- Situation of Qarehsou river basin and r Miankaleh wetland in Golestan province and Iran



شکل ۴- دبی رودخانه قره‌سو در نزدیکی تالاب میانکاله (میلیون متر مکعب در سال)
Figure 4- Dubi Qarehsou River neathe r Miankaleh wetland (MCM)



شکل ۳- متوسط دبی رودخانه قره‌سو در سال زراعی ۹۴-۹۵
Figure 3- Average of Qarehsou river dubi in 2015-2016

الگوی فعلی توزیع آب در منطقه به‌گونه‌ای است که بیشترین حجم آب به ترتیب به بخش کشاورزی، شرب، شیلات و صنعت اختصاص داده شده است. در سناریوی نرمال الگوی پیشنهادی و با گزینه سیاستی حفظ تالاب در شرایط مناسب و نیز اعمال سیاست‌های کم‌آبیاری و امنیت غذایی، مصرف آب در بخش کشاورزی افزایش یافته که این امر ناشی از توزیع بهینه منابع و کاهش تغذیه سفره زیرزمینی می‌باشد. در سناریوی خشکسالی الگوی پیشنهادی، بررسی میزان مصرف آب توسط بخش‌های مختلف نشان داد با کاهش مقدار آب در این سناریو، بخش کشاورزی نسبت به سایر بخش‌ها با کاهش بیشتری در مصرف آب مواجه می‌شود. این نتیجه، با نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات نیکوئی و همکاران (Nikouei *et al.*, 2012)، بلاکو و همکاران (Blaco *et al.*, 2013)، کهیل و همکاران (Kahil *et al.*, 2014) و استیو و همکاران (Esteve *et al.*, 2018) مطابقت دارد.

جدول ۱- توازن هیدرولوژیکی به تفکیک سناریوهای عرضه آب و گزینه‌های سیاستی در حوضه آبریز قره‌سو (میلیون متر مکعب در سال)
Table 1- Hydrological balance by water supply and policy scenarios in Qarehsou basin (millions cubic meter per year)

گزینه سیاستی Policy option		حفظ تالاب در شرایط مناسب* Wetland protecting in relatively suitable condition		حفظ تالاب در شرایط نسبتاً مناسب** Wetland protecting in suitable condition	
سناریو عرضه آب Water supply scenario	پایه Base	نرمال Normal		خشکسالی Drought	
	-	بدون اعمال سیاست Without policy	با اعمال سیاست With policy	بدون اعمال سیاست Without policy	با اعمال سیاست With policy
منابع sources					
جریان‌های سر آب Headwater flows	222.2	222.2	222.4	103.8	102.2
رواناب سطحی Surface runoff	35	35	35	16.3	16.1
آب برگشتی Return flows	63.3	63.3	66.6	48.5	40.3
خالص خروجی سد (ورودی – خروجی) Net reservoir release (outflow-inflow)	-23.8	-23.8	-23.8	-23.8	-23.8
انتقال آب زیرزمینی به رودخانه Groundwater transfer to the river	276.5	286	296.2	145.3	84.6
کل Total	573.2	582	596.2	290.1	219.4
مصارف Use					
کشاورزی Agriculture	339.4	360.3	377	294.2	276.1
شرب Urban	52.8	52.8	53	52.3	52.3
صنعت Industry	20.6	20.1	20	19.7	19.7
پرورش ماهی Fishery	24.7	24.7	25	22.6	22
تبخیر از حوضه evaporation	0.9	0.9	1	0.9	0.9
محیطزیست (تالاب) Environment (wetland)	0	18	18	10	10
تغذیه سفره زیرزمینی Groundwater recharge	134.8	101.8	102	-109.5	-161.5
کل Total	573.2	578.6	596	290.1	219.4

مأخذ :یافته‌های تحقیق
Source: Research findings
*تأمین ۱۸ میلیون مترمکعب آب مورد نیاز تالاب در شرایط نرمال
*Supplying 18 MCM water required of the wetland under normal condition
**تأمین ۱۰ میلیون مترمکعب آب مورد نیاز تالاب در شرایط خشکسالی
**Supplying 10 MCM water required of the wetland under drought condition

جدول ۲ میزان مصرف آب در سناریوهای مختلف توسط گروه‌های مختلف تقاضاکننده آب را نشان می دهد. با توجه به این جدول کل آب مورد نیاز گروه‌های تقاضاکننده آب در سال پایه معادل ۴۳۷/۴ میلیارد متر مکعب بوده که از این میزان بیشترین سهم مربوط به بخش کشاورزی (۳۷۴/۳ میلیون مترمکعب)، ۸۵ درصد آب‌های سطحی و زیرزمینی حوضه مورد مطالعه در بخش کشاورزی استفاده می‌شود، و کمترین میزان مصرف مربوط به بخش صنعت (۴/۵ درصد) بوده است. با اعمال سناریو عرضه نرمال آب و گزینه سیاستی حفظ تالاب در حالت عدم اعمال دو سیاست کم‌آبیاری و امنیت غذایی مصرف بخش کشاورزی کاهش یافته و مصرف سایر بخش‌ها ثابت مانده است. در این شرایط به دلیل اعمال سناریوی محیطزیستی مقدار آب مورد نیاز برای حفظ تالاب در شرایط مناسب تأمین شده است.

در شرایط خشکسالی به دلیل کاهش حجم سرآب، مقدار آب در دسترس کلیه بخش‌ها کاهش یافته است. ازآنجاکه تأمین آب مورد نیاز بخش شرب مهمترین هدف سازمان‌های ذی‌ربط است لذا این بخش نمی‌تواند کاهش زیادی در مصرف آب را تجربه کند. بخش صنعت در این استان یک فعالیت نوپا بوده و مصرف آب در این بخش نسبت به بخش کشاورزی بسیار کمتر است لذا با کاهش میزان آب در دسترس کمتر تحت تأثیر قرار گرفته است. کاهش بیش‌ازحد مصرف آب آبیاری در دوره خشکسالی ناشی از اعمال سیاست کم‌آبیاری در مدل می‌باشد. سیاست کم‌آبیاری با صرفه‌جویی نسبت به آبیاری کامل موجب کاهش مصرف آب شده است. این نتیجه، نتایج مطالعات یوسفیان و همکاران (Yosefian *et al.*, 2018)، اسحقی نصرآبادی و همکاران (IshaghiNasrabadi *et al.*, 2014) را تائید می‌کند. فعالیت پرورش ماهی به‌شدت به آب وابسته است. اما با توجه به کوچک بودن حجم این فعالیت در منطقه با کاهش آب در دسترس در شرایط خشکسالی نسبت به بخش کشاورزی با کاهش کمتر اما نسبت به شرب و صنعت با کاهش بیشتری مواجه شده است. در شرایط نرمال و خشکسالی با توزیع بهینه منابع آب بین کلیه بخش‌های تقاضاکننده آب منجر به آزادسازی بخشی از منابع و تأمین حداقل نیاز آبی تالاب شده است. این نتیجه نتایج مطالعه رینجلر و کای (Ringler and Cai, 2006) و کهیل و همکاران (Kahil *et al.*, 2014) را تأیید می‌کند.

جدول ۲- مصرف آب به تفکیک نوع فعالیت، سناریو عرضه آب و سیاست حفظ تالاب در حوضه آبریز قره‌سو (میلیون مترمکعب)

Table 2- Water use by kinds of activity, water supply scenario and wetland protection policy in Qarehsou basin (MCM)

گزینه سیاستی Policy option		حفظ تالاب در شرایط مناسب Wetland protecting in relatively suitable condition		حفظ تالاب در شرایط نسبتاً مناسب Wetland protecting in suitable condition	
سناریو عرضه آب Water supply scenario	پایه Base	نرمال Normal		خشکسالی Drought	
		بدون اعمال سیاست Without policy	با اعمال سیاست With policy	بدون اعمال سیاست Without policy	با اعمال سیاست With policy
کشاورزی Agriculture	339.4	360.3	377.4	211.1	134.2
شرب Urban	52.8	52.8	52.8	51.9	52.1
صنعت Industry	20.1	20.1	20.1	19.7	19.7
پرورش ماهی Fishery	24.7	24.7	24.7	22.6	22
محیطزیست تالاب Wetland environment	0.4	18	18	10	10
کل Total	437.4	476.1	492.9	315.3	238

مأخذ :یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

جدول ۳ اثر اجرای گزینه سیاستی بر ترکیب کشت محصولات زراعی و باغی حوضه آبریز قره سو را نشان می دهد. کشاورزان از طریق تغییر در الگوی کشت خود را با تغییرات در سیاست‌ها، آب‌وهوا، هزینه‌های تولید و ... سازگار می‌کنند. مطابق این جدول اجرای گزینه

سیاست حفظ تالاب در حالت بدون اعمال سیاست آبیاری سبب کاهش سطح زیر کشت کلیه محصولات زراعی و اعمال سیاست کم‌آبیاری باعث افزایش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در شرایط عرضه نرمال آب‌شده است. افزایش سطح زیر کشت محصولات ناشی از افزایش انتقال آب‌های زیرزمینی به رودخانه و نیز استفاده بهینه از منابع آب در دسترس کشاورزان است. در شرایط خشکسالی با کاهش ۵۰ درصدی رواناب‌های سطحی و جریان‌های سر آب، مقدار آب در دسترس کلیه بخش‌ها اعم از کشاورزی کاهش می‌یابد که این امر منجر به کاهش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی می‌شود. میزان کاهش سطح زیر کشت در حالت عدم اعمال سیاست کم‌آبیاری و امنیت غذایی نسبت به شرایط پایه ۱۵ درصد بوده در حالیکه با اجرای این دو سیاست سطح زیر کشت ۲ درصد در مقایسه با شرایط فعلی کاهش می‌یابد. کاهش کمتر سطح زیر کشت در صورت اعمال سناریوهای کم‌آبیاری و امنیت غذایی به معنای حفظ امنیت غذایی در منطقه مورد مطالعه در شرایط خشکسالی است.

در شرایط خشکسالی و بدون اعمال سیاست کم‌آبیاری و امنیت غذایی بیشترین و کمترین کاهش سطح زیر کشت به ترتیب مربوط به محصولات کلزا و جو با ۱۹/۵ و ۱۱/۷ درصد کاهش بوده است در حالیکه با اعمال سیاست‌های مذکور بیشترین و کمترین کاهش سطح زیر کشت به ترتیب مربوط به محصولات جو و برنج (۳/۶ و ۳ درصد کاهش نسبت به شرایط پایه) می‌باشد. علی‌رغم بالا بودن نیاز آبی محصول برنج اما در شرایط خشکسالی سطح زیر کشت این محصول ۳ کاهش یافته است. با توجه به بالا بودن درآمد حاصل از تولید این محصول و همچنین با اعمال قید کم‌آبیاری و امنیت غذایی این نتیجه دور از انتظار نیست. با اعمال قید کم‌آبیاری و امنیت غذایی سطح زیر کشت کلیه محصولات زراعی بین ۳ تا ۳/۶ درصد کاهش یافته است. ازآنجاکه این کاهش سطح زیر کشت کلیه محصولات زراعی اعم از محصولات استراتژیک ناچیز بوده لذا خشکسالی نمی‌تواند امنیت غذایی منطقه مورد مطالعه را دچار اخلال نماید. اگرچه در مواجه با خشکسالی و با هدف حفظ تالاب، مصرف کل آب در بخش کشاورزی کاهش یافته اما این کاهش بیشتر ناشی از کاهش مصرف منابع آب زیرزمینی (۷۶ درصد) برای محصولات زراعی است (جدول ۴).

بررسی منافع و هزینه های گروه‌های تقاضاکننده آب نشان داد، در سیاست حفظ تالاب با شرایط نرمال سودآوری فعالیت کشاورزی و محیط‌زیست تالاب افزایش یافته و سودآوری فعالیت‌های شرب، شیلات و صنعت بدون تغییر مانده است. در سناریو خشکسالی و در حالت عدم اجرای سیاست کم‌آبیاری و امنیت غذایی، کم‌آبی ناشی از خشکسالی ازیک‌طرف و سیاست حفظ تالاب از سوی دیگر، از طریق کاهش مصرف آب در گروه‌های تقاضاکننده آب موجب کاهش ۳۱ درصدی منافع خالص سالانه حوضه آبریز قره‌سو و شاخص رفاه در این منطقه نسبت به شرایط پایه شده است. با اعمال سیاست کم‌آبیاری و امنیت غذایی میزان کاهش در منافع نسبت به حالت عدم اجرای سیاست کمتر بوده و شاخص رفاه ۲۶ درصد نسبت به حالت پایه کاهش یافته است. کاهش در رفاه و منافع خالص در نتیجه خشکسالی، با نتایج مطالعات نیکوئی و همکاران (Nikouei *et al.*, 2012) و کهیل و همکاران (Kahil *et al*, 2014) مطابقت دارد (جدول ۵). به‌منظور برآورد منافع تالاب از مطالعه امیرنژاد و همکاران (Amirnejad *et al.*, 2010) استفاده شد. سپس با استفاده از نرخ تنزیل مناسب و حجم آب ورودی به تالاب از رودخانه قره‌سو خالص منافع محاسبه گردید. بررسی روند جریان ورودی به تالاب میانکاله در سال پایه نشان داد کل آب ورودی به تالاب از رودخانه قره‌سو بسیار اندک بوده و نیاز آبی تالاب را تأمین نمی‌کند. با اعمال قید حداقل مقدار تأمین آب مورد نیاز تالاب در شرایط نرمال و خشکسالی ازآنجاکه این حداقل مقدار از تغذیه تالاب توسط رودخانه قره‌سو در شرایط فعلی بیشتر است لذا منفعت خالص تالاب در هر دو حالت نرمال و خشکسالی نسبت به شرایط پایه افزایش یافته است. در شرایط خشکسالی با کاهش رژیم آورد رودخانه به تالاب منافع حاصله نیز کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج، به‌طورکلی در شرایط کنونی تخصیص و مصرف آب بین مصرف‌کنندگان مختلف در حوضه قره‌سو بهینه نبوده است. در سناریوی نرمال عرضه آب، علی‌رغم کاهش کل منابع آب به‌منظور حفظ تالاب میانکاله در شرایط مناسب، در بخش کشاورزی سطح زیر کشت اکثر محصولات افزایش یافته که این امر به نوبه خود موجب افزایش مصرف منابع آب در این بخش شده است و درنهایت با فرض ثابت بودن قیمت محصولات کشاورزی و سایر عوامل تولید، منافع خالص این بخش از رشد مثبتی برخوردار بوده است. در حالت سناریو عرضه نرمال آب علی‌رغم اختصاص ۱۸ میلیون متر مکعب منابع آب به تالاب میزان مصرف و ارزش ناخالص سالانه بخش شرب نیز افزایش یافته که این امر ناشی از تخصیص بهینه منابع آب است. در شرایط خشکسالی به دلیل کم‌آبی ناشی از خشکسالی و کاهش مقدار مشخصی از حجم آب سر آب و جریان‌های سطحی جهت حفظ تالاب، مصرف آب در کلیه بخش‌ها کاهش یافته که این کاهش در بخش کشاورزی بیشتر از سایر بخش‌ها بوده است. در این حالت کشاورزان می‌توانند از طریق تغییر در الگوی کشت و کم‌آبیاری، کاهش سطح زیر کشت محصولاتی که نیاز آبی بالایی دارند و توسعه محصولاتی با نیاز آبی کمتر و یا محصولاتی که علی رغم نیاز آبی بالا از درآمد بالاتری نسبت به سایر محصولات برخوردار هستند، از کاهش بیش‌ازاندازه درآمد جلوگیری می‌کنند.

جدول ۳- سطح زیر کشت به تفکیک محصولات، سناریو عرضه آب و گزینه سیاستی در حوضه آبریز قره‌سو (هکتار)

Table 3- Total Land in Production by Crop, Water Supply, and Policy Scenario Qarehsou River Basin (hectare)

گزینه سیاستی **Policy option**			حفظ تالاب در شرایط مناسب **Wetland protecting in relatively suitable condition**	حفظ تالاب در شرایط نسبتاً مناسب **Wetland protecting in suitable condition**	
سناریو عرضه آب **Water supply scenario**	پایه **Base**		نرمال **Normal**	خشکسالی **Drought**	
		بدون اعمال سیاست **Without policy**	با اعمال سیاست **With policy**	بدون اعمال سیاست **Without policy**	با اعمال سیاست **With policy**
محصولات Crops					
پنبه Cotton	4,280	4,110	4,320	3,460	4,140
گندم Wheat	48,930	46,970	49,420	41,960	47,300
جو Barley	3,850	3,690	3,880	3,420	3,710
برنج Rice	15,430	14,810	15,580	13,000	14,970
سویا Soybean	12,680	12,170	12,710	10,300	12,260
کلزا Canola	4,350	4,170	4,390	3,510	4,210
ذرت علوفه‌ای Sorghum	3,260	3,130	3,300	2,660	3,160
گوجه‌فرنگی Tomato	2,090	2,000	2,110	1,710	2,020
سیب‌زمینی Potato	6,880	6,600	6,940	5,720	6,670
آلو plum	480	480	480	480	480
هلو peach	600	600	600	600	600
شلیل Nectarine	370	370	370	370	370
پرتقال Orange	1,870	1,870	1,870	1,870	1,870
نارنگی Tangerine	630	630	630	630	630
انار Pomegranate	90	90	90	90	90
خرمالو Persimmon	70	70	70	70	70
زیتون Olive	820	820	820	820	820
گردو Walnut	50	50	50	50	50
جمع Total	106,711	102,642	108,000	90,704	103,000

مأخذ :یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

جدول ۴- مصرف آب کشاورزی به تفکیک محصولات، سناریوهای عرضه آب و گزینه‌های سیاستی در حوضه آبریز قره‌سو (میلیون متر مکعب در سال)

Table 4- water irrigation consumption by Crop, Water Supply, and Policy Scenario in Qarehsou River Basin (MCM per year)

گزینه سیاستی Policy option			حفظ تالاب در شرایط مناسب Wetland protecting in relatively suitable condition		حفظ تالاب در شرایط نسبتاً مناسب Wetland protecting in suitable condition	
سناریو عرضه آب Water supply scenario		پایه Base	نرمال Normal		خشکسالی Drought	
			بدون اعمال سیاست Without policy	با اعمال سیاست With policy	بدون اعمال سیاست Without policy	با اعمال سیاست With policy
گروه محصولات Production	حجم آب Water used					
محصولات زراعی Crops	آبیاری Applied	313.7	334.7	351.7	198.5	121.6
	مصرفی Depleted	217.6	232.1	243.9	137.8	84.6
محصولات باغی Fruits	آبیاری Applied	25.7	25.7	25.7	12.6	12.6
	مصرفی Depleted	18.0	18.0	18.0	8.8	8.8
کل آب آبیاری و مصرفی Total use	آبیاری Applied	339.4	360.3	377.4	211.1	134.2
	مصرفی Depleted	235.5	250/0	261.8	146.6	93/4
کل منابع Total source	سطحی Divert	68.4	82.7	84.4	76.3	68.3
	زیرزمینی Pumped	271.0	277.6	293.0	134.8	65.9

مأخذ :یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

کاهش منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی از یک‌سو و کاهش سطح زیر کشت بخش کشاورزی از سوی دیگر موجب کاهش منافع خالص سالانه بخش کشاورزی شده است. با توجه به اینکه آب نیاز حیاتی جامعه بشری است لذا تأمین آب مورد نیاز بخش شهری وظیفه اصلی شرکت آب منطقه‌ای بوده و نمی‌توان انتظار کاهش قابل‌توجهی در مصرف شرب به‌منظور حفظ تالاب را داشت. مصرف آب در بخش شیلات اگرچه در مقایسه با سایر گره‌های متقاضی آب کمتر است، اما درآمد حاصله از این بخش نیز کمتر بوده است. با توجه به اینکه نهاده اصلی در این بخش، آب است کاهش مقدار آب بر فعالیت این بخش به‌شدت تأثیر گذاشته و موجب کاهش ارزش ناخالص آن می‌شود. همچنین، در شرایط خشکسالی بخش صنعت با کاهش منافع مواجه است. بخش صنعت آب مورد نیاز خود را از آب‌های سطحی و زیرزمینی برداشت می‌کند. ازآنجاکه این بخش از بازده بالایی برخوردار است لذا افزایش جریان‌های بازگشتی می‌تواند به‌عنوان یکی از منابع مهم تأمین آب مورد نیاز این بخش بوده و عامل مهمی در افزایش فعالیت این بخش به شمار آید.

افزایش استخراج آب‌های زیرزمینی از یک‌سو و کاهش آب‌های سطحی (ناشی از خشکسالی و تأمین آب تالاب از سر آب) اگرچه حوضه آبریز قره‌سو را با مشکل کم‌آبی مواجه کرده است اما به دلیل توزیع بهینه آب بین گره‌های تقاضاکننده مبتنی بر الگوی اقتصادی- هیدرولوژیکی مورد استفاده از طریق تغییر در الگوی کشت و استفاده از محصولات مقاوم به خشکی، مقدار آب ورودی به تالاب میانکاله در سناریوهای نرمال و خشکسالی افزایش یافته و درنتیجه سبب افزایش منافع ناخالص محیط‌زیست حوضه قره‌سو شده است.به‌این‌ترتیب، به منظور جلوگیری از کاهش بیش از حد رفاه و منافع اقتصادی و حفظ امنیت غذایی در شرایط خشکسالی و کمیابی آب اعمال همزمان دو سیاست کم‌آبیاری و امنیت غذایی توصیه می شود.

جدول ۵- منافع خالص سالانه و هزینه‌های اجرای برنامه به تفکیک سناریوهای عرضه آب و گزینه‌های سیاستی در حوضه آبریز قره‌سو (میلیون ریال)

Table 5- Annual net benefit and program performance costs by water supply scenarios and policy options in Qarehsou basin (Million Rials)

گزینه سیاستی Policy option		حفظ تالاب در شرایط مناسب Wetland protecting in relatively suitable condition		حفظ تالاب در شرایط نسبتاً مناسب Wetland protecting in suitable condition	
		نرمال Normal		خشکسالی Draught	
سناریو عرضه آب Water supply Scenarios	پایه Base	بدون اعمال سیاست Without policy	با اعمال سیاست With policy	بدون اعمال سیاست Without policy	با اعمال سیاست With policy
منافع خالص سالانه Annual net benefit					
کشاورزی Agriculture	9,906,203	10,537,653	11,062,759	5,530,118	6,327,043
شرب Urban	20,156	20,156	20,157	19,859	19,916
صنعت Industry	4,282,582	4,282,582	4,282,582	4,198,160	4,198,152
شیلات Fishery	43,724	43,724	43,720	39,947	38,912
محیطزیست تالاب Wetland environment	0	26,728	26,425	14,675	14,675
خالص منافع سالانه کل Total annual net benefit	14,252,664	14,910,844	15,435,643	9,802,759	10,598,698
خالص هزینه‌های مالی اجرای برنامه Net financial costs of program performance	11,412	11,631	12,140	6,857	4,683
شاخص رفاه خالص Net welfare index	14,264,076	14,922,474	15,423,503	9,809,616	10,603,382

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

اعمال این سیاست می‌تواند از طریق حفظ سطح زیر کشت محصولات کشاورزی سبب افزایش رفاه در منطقه شود. همچنین به‌منظور حفظ تالاب میانکاله و افزایش عملکرد اکولوژیکی آن، پیشنهاد می‌شود مقدار آب تخصیص‌یافته به بخش کشاورزی از آب‌های سطحی کاهش یابد و درعین‌حال، به‌منظور افزایش کارایی اقتصادی کشاورزان، ترویج الگوی کشت بهینه و کاربرد استراتژی‌های کم‌آبیاری محصولات توسط مسئولین سازمان جهاد کشاورزی استان موردتوجه قرار گیرد. همچنین، ازآنجاکه هدف کشاورزان حداکثرسازی سود با توجه به منابع آب است، لذا توصیه می‌شود در شرایط خشکسالی از راهبردهای مناسب با خشکسالی جهت بهبود مدیریت منابع آب همچون استفاده از بذرهای اصلاح‌شده و مقاوم به خشکی، کاهش مصرف آب متناسب با نیاز آبی گیاه و اصلاح تاریخ عملیات کاشت به‌منظور کاهش تبخیر و تعرق استفاده شود. همچنین، استفاده از تصفیه پساب سایر بخش‌ها به‌منظور تأمین آب مورد نیاز بخش صنعت توصیه می‌شود. علاوه بر این، توصیه می‌شود با استفاده مجدد از پساب واحدهای صنعتی و شهری میزان برداشت از آب‌های سطحی کاهش یافته و با تغییر در الگوی کشت میزان مصرف آب در بخش کشاورزی کاهش یافته تا موجب افزایش آب ورودی به تالاب شود.

منابع

1. Adibpor M., Shirashiani R. 2014. Estimation of water demand function in Golestan Province household sector. Quarterly Jornal of Economical Modelling 26(2): 91-106. (In Persian with English abstract)

2. Ahmady M., and Asghari S. 2013. The environmental consequences of reduced water levels in the Lake Uromieh and its Survival. Quarterly Gheograghycal Jornal of Territory (Sarzamin) 40: 81-96. (In Persian with English abstract)
3. Akter S., Grafton R.Q., and Merritt W.S. 2020. Integrated hydro-ecological and economic modeling of environmental flows: Macquarie Marshes, Australia. Agricultural Water Management 145: 98-109. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.12.005.
4. Alcamo J., Henrichs T., and Rösch T. 2000. World Water in 2025: Global modeling and scenario analysis for the world commission on water for the 21st century. Kassel World Water Series. Report No 2. Center for Environmental System Research. University of Kassel. Kassel.
5. Amirnejad H., Rafiee H., and Atghaee M. 2010. Estimation of the preservation value of environmental resources (Case study: Miankaleh international wetland). Jornal of Envirenmental Studies 53: 89-98. (In Persian with English abstract)
6. Blaco G, Varela-Ortega I., and R.Purkey D. 2013. Integrated assessment of policy interventions for promoting sustainable irrigation in semi-arid environments: a hydro-economic Modeling Approach 124: 144-160.
7. Booker J.F., Michelsen A., and Ward F.A. 2005. Economic impact of alternative policy responses to prolonged and severe drought in the Rio Grande Basin. Water Resources Research 41: 1-15. https://doi.org/10.1029/2004WR003486.
8. Brouwer R., and Hofkes M. 2008. Integrated hydro-economic modelling: approaches, key issues and future research directions .Ecological Economics 66(1): 16-22. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.02.009.
9. Do P., Tian F., Zhu T., Zohidov B., Ni G., Lu H., and Liu H. 2020. Exploring synergies in the water-food-energy nexus by using an integrated m2.
10. Ebrahimipak N.A., Egdernezhad A., Tafteh A., and Khadadai D. 2018. Evaluation of aquacrop model to simulate canola (*Brassica napus*) yield under deficit irrigation scenarios in gazvin plain .Iranian Journal of Soil and Water Research 49(5): 1003-1015. (In Persian with English abstract)
11. El-Shawafy M.A., Ramadan A., El-Shafie A., and El-Baset M. 2020. Effect of deficit irrigation scheduling and mminimum tillage on the water stress, water application efficiency, yield and water productivity of barley under sandy soil conditions. Plant Archives 20(2): 3138-3148.
12. Environmental Protection Agency, deputy for natural resources and biodiversity, habitats and regional affairs office. 2013. Detailed stage studies of the Management plan of Miankaleh biosphere reserves in Mazandaran province. (In Persian)
13. Esmaelnejad M., Akbarpour M., Mikaniki J., and Falsoleinan M. 2018. Assessing the implications of climate change on food security and rural livelihoods case study: rural farmers in Migan Nehbandan. Geography 57: 5-18. (In Persian with English abstract)
14. Esavi V., and Rezaei-Chianeh E. 2014.Analysis the impact of drought and land use/cover changes on wetlands ecosystem of Sulduz region. Wetland Ecobiology 19: 91-101. (In Persian with English abstract)
15. EshaghiNasrabadi E., Shahnazari A., Ziatabarahmadi M.Kh., Aghajani GH., and Karandish F. 2014. Investigation of quantity and quality traits of maize yield under partial root zone drying and deficit irrigation strategies. Jornal of Irrigation Sciences and Engineering 3: 73-82. (In Persian with English abstract)
16. Esteve P., Varela-Ortega C., Gutierrez I.B., and Downing T. 2015. A hydro-economic model for the assessment of climate change impacts and adaptation in irrigated agriculture. Ecological Economics 120: 49-58
17. Fardad H. 2011. General irrigation (methods irrigation). University of Tehran, Iran. (In Persian)
18. Fanat. 2003. Food and nutrition technical assistance project (fanta) and food aid management (FAM). Food Access indicator review. Washington, D.C.
19. FAO. 2006. Food security strategies: the Asian experience. FAO Agricultural Policy and Economic Development Series.
20. Finlayson CM., and Spiers AG. 1999. Global review of wetlands resources and priorities for wetland inventory. Supetvising Scientist Report/ Wetlands International Publication 53, Supetvising Scientist, Canberra.
21. Galbraith H., Amerasinghe P. H., and Huber- Lee A. 2005. The effects of agricultural irrigation on wetland ecosystems in developing countries: a literature review. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). Comperhenesive Assessment Secretariat.
22. Golestan Provice Governorate. 2018. https://golestanp.ir/moarefi-ostan/print:page,1,18.
23. Haab T.C., and McConnell K.E. 2003. Valuing environmental and natural resources: the econometrics of non-market valuation. Edward Elgar Pub. Cheltenham, UK.
24. IWMI. 2011. Water: the unifying element in our system international water resources management institute. Retrieved from http:// www.iwmi.cgiar.org/Topics/Climate_Change/
25. Kahil M.T., Albiac J., Dinar J., Calvo E., Esteban E., Avella L., and Garcia-Molla M. 2016. Improving the performance from drought in Spain. Water 2016, 8(2). https://doi.org/10.3390/w8020034.
26. Kahil M.T., Dinar A., and Albiac J. 2014. Modeling water scarcity and drought severity for policy adaptation to climate change: application to the Jucar Basin, Spain, University of California Water Science and Policy Center,

Working Paper 01- 0114,January 2014.
27. Kalbali E., Ziaeee S., MardaniNajafabadi M., and Zakerinia M. 2021. Approaches to adapting to impacts of climate change in northern Iran: The application of a hydrogy-economics model. Journal of Cleaner Production v (280): 1-16. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124067.
28. Kingsford R.T. 2000. Ecological impacts of dams, water diversions and river management on flood plain wetlands in Australia. Austral Ecology 25(2): 109-127. https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2000.01036.x.
29. Kafi M., and Jami Alahmadi M. 2020. Challenges of the agricultural sector in the face of drought and water shortages and possible solutions. In Presentation at 16th National Iranian Crops Science Congress. Mollasani, Ahvaz, Khuzestan, Iran, 25th – 27th January. (In Persian with English abstract)
30. Lalitha R., and Vallalkannan S. 2019. Yield, crop response factor and water productivity of paddy under deficit irrigation condition. Research Journal of Agricultural Sciences. 9(Special): 291-295
31. Mainuddin M., Kirby M., and Qureshi M. E. 2007. Integrated hydrologic–economic modelling for analyzing water acquisition strategies in the Murray River Basin. Agricultural Water Management 3: 123-125. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.06.011.
32. Memon S.A., Sheikh I.A., Talpur M.A., Mangiro M.A. 2021. Impact of deficit irrigation on winter wheat in semi-arid climate of Sindh. Agriculture Water Maznagement 243. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106389.
33. Mirchi A., Wathins D.W., Engel V., Sukop M.C., Czajkowski Bhat M., Rehage J., Letson D., Takatsuka Y., and Weisskoff R. 2018. A hydro- economic model of south Florida water resources system. Science of the Total Environment 628-629: 1531-1541. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.111.
34. Mirkarimi S., Amirnejad H., and Julaie R. 2019. Optimal allocation and distribution of water resources in Gorganrood-Qarasu River Basin and investigation of its side effects: Random Bankruptcy Approach. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran.
35. Mulugeta M.S., and Kannan N. 2015. Effect of deficit irrigation on maize under conventional, fixed and alternate furrow irrigation systems at Melkassa, Ethiopia. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) 4(11): 119-126. http://dx.doi.org/10.17577/IJERTV4IS110178.
36. Naderi N. 2010. Use of irrigation in conditions of water shortage and drought. Ministry of Agriculture, Agricultural Jihad Organization of Semnan Province, Agricultural Extension Coordination Management 21. (In Persian with English abstract)
37. Nikmehr S., and Zibaei M. 2020. Assessing the effects of climate change on hydrological and economic conditions of south Karkheh Sub-basin. Journal of Agricultural Economics and Development 34(1): 63-79. (In Persian with English abstract)
38. Nikouei A., Zibaei M., and Ward F.A. 2012. Incentives to adopt irrigation water saving measures for wetlands preservation: an integrated basin scale analysis. Journal of Hydrology 464-465: 216-232. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.07.013.
39. Ouda S., Noreldin T., Alarcón J.J., Ragab R., Caruso G., Sekara A., Abdelhamid M.T. 2021. Response of spring wheat (Triticum aestivum) to deficit irrigation management under the semi-arid environment of Egypt: Field and Modeling Study. Agriculture 90(11). https://doi.org/10.3390/agriculture11020090.
40. Patane C., Tringali S., and Sortino O. 2011. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. Scientia Horticulturae 129: 590-596. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.030.
41. Qureshi M.E., Ranjan R., and Qureshi S.E. 2010a. An empirical assessment of the value of irrigation water: the case study of Murrumbidgee catchment. Aust. J. Agric. Resour. Econ. 54(1): 99–118.
42. Rigenal Water compony of Golestan. 2016. (In Persian)
43. Ringler C., and Cai X. 2006. Valuing fisheries and wetlands using integrated economic– hydrologic modeling Mekong River Basin. Journal of Water Resources Planning and Management 132(6): 480–487. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2006)132:6(480)
44. Sepaskhah A., Tavakoli A., and Mousavi S.F. 2006. Principles and applications of deficit irrigation. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). (In Persian)
45. Smardon R. 2009. International wetland policy and management issues, sustaining the world's wetlands. Springer New York. pp. 1–20.
46. Taghavi Kaljahi S., Reiazi B., and Taghavi L. 2014. Determination of environmental water requirement of Miankaleh wetland. Journal of Environmental Science and Technology 2: 101-109. (In Persian with English abstract)
47. United States Environmental Protection Agency (USEPA). 2018.
48. Vörösmarty C.J., P.B. McIntyre M.O., Gessner D., Dudgeon A., Prusevich P., Green S., Glidden S.E., Bunn, C.A. Sullivan Reidy Liermann C., and Davies P.M. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. Nature 467: 555-561. https://doi.org/10.1038/nature09440.
49. Ward F.A., Booker J.F., and Michelsen A.M. 2006. Integrated economic, hydrologic, and institutional analysis of policy responses to mitigate drought impacts in Rio Grande Basin. Journal of Water Resources Planning and

Management 132(6): 488-502. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2006)132:6(488).

50. World Food Programme (WFP). 2016. What is food security? World food programme, Viewed 06 June 2017, from https://www.wfp.org/node/359289.

51. Yosefian M., Shahnazari A., Ziyatabar Ahmadi M.Kh., Raeini M., and Arabzadeh B. 2018. Effects of regulated deficit irrigation and partial root drying on yield, yield components and water productivity of rice in furrow and basin methods. Journal of Water Research in Agriculturr 3: 341-351. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/JWRA.2018.117788.